

Алексахин А.А., Ена С.В., Гордиенко Е.П.

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОРАЙОННОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ЧЕТЫРЕХТРУБНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ К ДВУХТРУБНОЙ**

Особенностью сложившихся систем централизованного теплоснабжения микрорайонов является большая протяженность тепловых сетей, что связано с принятой закрытой схемой приготовления горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд. Наличие общей водоподогревательной установки в микрорайонной системе обуславливает четырехтрубную распределительную сеть и существенные потери теплоты при транспортировке. Уменьшения общей длины микрорайонных тепловых сетей можно достичь, например, переходом на двухтрубные сети с устройством на индивидуальных тепловых пунктах зданий водоподогревательной установки горячего водоснабжения. Эффективность таких мероприятий необходимо оценивать для каждого конкретного микрорайона отдельно. Для этого можно использовать известные методики нахождения площади поверхности теплообменников [1] и вычисления потерь теплоты [2] и давления [3] в сети при известных характеристиках прокладки трубопроводов и тепловой изоляции. Указанные методики требуют значительного объема исходных данных, что затрудняет их использование при оценках на предварительных этапах проектирования. В этих случаях могут быть полезными упрощенные методики вычисления показателей.

Целью работы есть изучение закономерностей изменения тепловых и гидравлических показателей тепловых сетей микрорайона при переходе к двухтрубной схеме организации теплоснабжения.

Сравнение вариантов перехода проведено на примере трех идеализированных жилых групп со средней этажностью жилых зданий 5, 9 и 16. Все здания каждой из групп имеют одинаковое число этажей. Отопительные нагрузки микрорайонов и число жителей примерно одинаковые. Расход теплоты на горячее водоснабжение определен для отдельных зданий с учетом коэффициента часовой неравномерности потребления воды в зависимости от принятого числа жителей. Тепловая сеть микрорайона составлена из одной главной ветви. Число ответвлений от главной ветви равно числу зданий, расстояния между точками присоединения соседних ответвлений одинаковы. Теплопроводы проложены в непроходных каналах. Основные характеристики рассмотренных групп зданий приведены в табл. 1.

Общая длина теплопроводов микрорайонной сети ( $L$ ) найдена по формуле

$$L/Q_{o,max} = 10^3 / (0,47E + 0,6), \tag{1}$$

где  $Q_{o,max}$  – отопительная нагрузка микрорайона, МВт;  $E$  – средняя этажность.

Распределение длин трубопроводов главной ветви и ответвлений ориентировочно принято как 0,4/0,6. Диаметр ( $D$ ) теплопроводов вычислен из формулы

$$R(X) = 0,134 \cdot 10^{-4} G^2(X) / D(X)^{5,25}, \tag{2}$$

где  $G$  – расход сетевой воды;  $R$  – удельные потери давления на преодоление сил трения при движении воды в трубопроводе.

Таблица 1 – Характеристики микрорайонов

Показатель	Вариант		
	1	2	3
Этажность жилых зданий	5	9	16
Длина трубопроводов, м: – общая	5320	3271	1938
– главной ветви	2120	1308	775
– ответвлений	3200	1963	1163
Число жителей	10010	10080	10050
Максимальный расход теплоты, МВт			
– отопление	15,69	15,80	15,74
Горячее водоснабжение	8,67	8,67	8,67
Количество жилых домов	36	20	22

Изменение расхода воды по длине главной ветви в предположении монотонного характера изменения диаметра можно определить по формуле

$$G(X) = G_{\max} - G_{\Pi} \left( \frac{X}{L} \right)^n, \quad (3)$$

где  $G_{\max}$ ,  $G_{\Pi}$  – расход воды соответственно на входе в ветвь и через все ответвления на ней;  $L$  – общая длина главной ветви;  $X$  – текущая координата на ветви.

Показатель степени  $n$  в уравнении (3) зависит от конфигурации сети, координаты присоединения ответвлений к главной ветви и расхода воды через ответвления. Для принятой в работе конфигурации сети  $n = 1$  и уравнение (3) в безразмерном виде принимает вид

$$G_0(X_0) = 1 - G_{\Pi 0}(X_0), \quad (4)$$

где  $G_0(X_0) = G(X)/G_{\max}$ ;  $G_{\Pi 0} = G_{\Pi}/G_{\max}$ ;  $X_0 = X/L$ .

Диаметры трубопроводов отопительной сети и подающей линии системы горячего водоснабжения определены по максимальным тепловым нагрузкам и принятой величине удельных потерь давления  $R=50$  Па/м. Диаметр циркуляционного трубопровода горячего водоснабжения принят равным  $D_{ц} = 0,77D_n$  ( $D_n$  – диаметр подающего трубопровода). Удельные потери давления в циркуляционном трубопроводе вычислены по формуле (2), расход горячей воды в режиме циркуляции найден по величине тепловых потерь трубопроводами подающей линии ( $\Delta Q_n$ )

$$G_{ц} = \Delta Q_n / (C \cdot \Delta t_{доп}), \quad (5)$$

где  $C$  – удельная теплоемкость воды;  $\Delta t_{доп}$  – допустимое охлаждение воды в системе в режиме циркуляции (в расчетах принято  $8,5$  °C).

Теплопотери трубопроводами микрорайонов рассчитаны отдельно для отопительного и летнего периодов, по упрощенной методике [4], потери давления – по упрощенной методике [5]. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные для сравнения вариантов

Показатель	Обознач.	Значение
Температура наружного воздуха (средняя за отопительный период), °C	$t_{cp}$	-2,1
Температура сетевой воды: подающая линия, °C	$T_{\Pi}$	85
обратная линия, °C	$t_o$	49
Температура горячей воды: подающая линия, °C	$t_{г}$	60
циркуляционная линия, °C	$t_{ц}$	45
Температура грунта на глубине заложения сети: (отопительный период / летний период)	$t_{гп}$	5,0/8,5
Длительность периода (отопительный / летний) суток	$T_{оп}/T_{л}$	190/160
Коэффициент учета потерь теплоты в конструктивных элементах тепловой сети	$K$	1,15
Коэффициент учета потерь давления в местных сопротивлениях	$K_M$	0,3
Коэффициент полезного действия насосов	$\eta_n$	0,6

Условный расход электроэнергии для транспортирования теплоносителя и горячей воды по микрорайонной сети вычислен по формуле

$$N_{год} = (H_{гл} + H_{вв}) G g T_1 T_2 / (1000 \eta_n), \quad (6)$$

где  $H_{гл}$  – потери давления на главной ветви;  $H_{вв}$  – требуемый напор на вводах здания;  $G$  – расход воды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $T_1$  – длительность работы, суток;  $T_2$  – продолжительность работы системы за сутки, час.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

При вычислениях значение  $T_2$  для системы отопления и подающего трубопровода системы горячего водоснабжения принято равным 24 часа, для циркуляционного трубопровода горячего водоснабжения – 22 часа. Результаты определения основных показателей работы системы теплоснабжения микрорайонов приведены в табл. 3.

Переход к двухтрубной системе теплоснабжения микрорайона может осуществляться различным образом. В данной работе рассмотрены следующие схемы перехода: использование существующей сети трубопроводов отопления для транспортирования возросших расходов сетевой воды, покрывающих потребность в теплоте для отопления и горячего водоснабжения; реконструкция сети с целью увеличения диаметров теплопроводов для транспортирования большего расхода теплоносителя. Первая схема сопряжена с ростом потерь давления.

Таблица 3 – Результаты расчетов четырехтрубной схемы теплоснабжения микрорайонов

Показатель	Вариант		
	1	2	3
Этажность жилых зданий	5	9	16
Средний диаметр отопительной сети, м (главная ветвь/сеть в целом)	0,175/0,104	0,179/0,114	0,178/0,112
Средний диаметр трубопроводов ГВ – подающий (главн. ветвь/сеть в целом) циркуляционный (главн. ветвь/сеть в целом)	0,164/0,105 0,126/0,081	0,167/0,114 0,129/0,092	0,167/0,114 0,129/0,092
Материальная характеристика, м <sup>2</sup>	2095	1420	825
Теплопотери трубопроводами, ГДж/год:			
система отопления	9371	6039	3542
система горячего водоснабжения (ГВ)	11831	7648	4490
сеть в целом	21202	13687	8032
Условный расход электроэнергии, кВт час/год:			
система отопления	75887	80264	105281
система горячего водоснабжения (ГВ)	18740	28330	44889
сеть в целом	94629	108594	150170

Таблица 4 – Параметры двухтрубной системы теплоснабжения при переходе по первой схеме (условие перехода – неизменность диаметров сети)

Показатель	Вариант исполнения микрорайона		
	1	2	3
Этажность жилых зданий	5	9	16
Средний диаметр отопительной сети, м (главная ветвь/сеть в целом)	0,175/0,104	0,179/0,114	0,178/0,112
Отношение диаметров $D_2/D_4$ (главная ветвь/сеть в целом)	1,0/1,0	1,0/1,0	1,0/1,0
Материальная характеристика $M_2$ , м <sup>2</sup>	1107	746	434
Отношение $M_2/M_4$ *	0,53	0,525	0,526
Теплопотери сетью $\Delta Q_2$ , ГДж/год	15869	10225	5998
Отношение $\Delta Q_2/\Delta Q_4$	0,75	0,747	0,747
Условный расход электроэнергии $N_2$ , кВт час/год	219760	186869	228714
Отношение $N_2/N_4$	2,32	1,70	1,52
Увеличение условной мощности насосов для подачи теплоносителя	2,49	2,08	1,71
Увеличение требуемого напора	1,73	1,4	1,1

\* – Примечание: индекс «2» относится к показателям двухтрубной системы, индекс «4» – четырехтрубной.

Вторая схема связана с дополнительными капитальными вложениями на проведение демонтажных работ существующей и прокладку новой сети. Выбор варианта зависит от срока эксплуатации и состояния тепловых сетей (изношенности трубопроводов, тепловой изоляции), напора сетевой воды на вводе в микрорайон, наличие финансовых ресурсов для проведения работ по реконструкции и целого ряда других факторов.

Для двухтрубной схемы расчеты выполнены в следующей последовательности. По совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения зданий найден расход теплоносителя, причем при нахождении диаметров использована максимальная нагрузка горячего водоснабжения зданий, при вычислении условного расхода электроэнергии для подачи воды по микрорайонной сети – среднесуточная, рассчитанная с учетом коэффициента часовой неравномерности потребления воды.

Затем, при необходимости, по формуле (2) вычислены новые значения диаметров главной ветви и с учетом ответвлений к зданиям – средний диаметр трубопроводов микрорайонной сети, который использован при расчете тепловых потерь трубопроводами. Значение среднего диаметра главной ветви использовано при определении гидравлических характеристик. Результаты расчетов показателей работы систем теплоснабжения для указанных вариантов двухтрубной сети приведены в табл. 4,5.

Таблица 5 – Параметры двухтрубной системы теплоснабжения микрорайонов (условие перехода – равенство удельных потерь давления)

Показатель	Вариант исполнения микрорайона		
	1	2	3
Этажность жилых зданий	5	9	16
Средний диаметр отопительной сети, м (главная ветвь/сеть в целом)	0,202/0,121	0,206/0,133	0,214/0,135
Отношение диаметров ( $D_2/D_4$ ) * (главная ветвь/сеть в целом)	1,154/1,16	1,15/1,17	1,2/1,210
Материальная характеристика $M_2$ , м <sup>2</sup>	1287	870	523
Отношение ( $M_2/M_4$ ) *	0,614	0,613	0,63
Теплопотери сетью $\Delta Q_2$ , ГДж/год	17140	11090	6630
Отношение $\Delta Q_2/\Delta Q_4$	0.808	0.81	0.825
Условный расход электроэнергии $N_2$ , кВт час/год	121171	135728	217362
Отношение $N_2/N_4$	1,28	1.25	1,45
Увеличение условной мощности насосов для подачи теплоносителя	1,44	1,45	1,62
Увеличение требуемого напора	1,0	1,0	1,

\* – Примечание: индекс «2» относится к показателям двухтрубной системы, индекс «4» – четырехтрубной

**Выводы.** Анализ полученных данных показывает, что при переходе к двухтрубной системе по первой схеме следует ожидать годовое снижение потерь теплоты теплопроводами микрорайонной сети примерно на 25 %. В расчетах не зафиксировано влияние характеристик застройки (этажность, длина сетей). При переходе на двухтрубную систему по второй схеме снижение теплопотерь заметно ниже (18–19 %). Однако из-за роста расхода теплоносителя и потерь давления (увеличение требуемого напора на 10–30 %) переход по первой схеме требует примерно двукратного увеличения условного расхода электроэнергии для транспортировки по сети. Во втором случае, поскольку требуемый напор остается неизменным, рост расхода электроэнергии примерно в 1,5 раза обусловлен увеличением расхода теплоносителя.

#### Литература

1. Пластинчатые теплообменники в промышленности [Текст]: учеб. Пособие / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Г.Л. ХАВИН и др.: под общ. ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСКОГО; национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 232 с.
2. Тепловая изоляция [Текст]/под ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995. – 421 с.
3. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей [Текст] / под ред. А.А. Николаева. – М.: Стройиздат, 1965. – 359 с.

4. Алексахін О.О. Обчислення втрат теплоти у мікрорайонних теплових мережах [Текст] / О.О. Алексахін // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб.– К. «Техніка», 2014.– Вип. 114, с. 82–84.

5. Алексахін О.О. Втрати тиску у мікрорайонних теплових мережах [Текст]/ О.О. Алексахін, О.В. Бобловський // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб.– К. «Техніка», 2014.– Вип. 114, с. 85–87.

### Bibliography (transliterated)

1. Plastinchatye teploobmenniki v promyshlennosti [Tekst]: ucheb. Posobie. L.L. Tovazhnyanskyu, P.A. Kapustenko, G.L. Havin i dr.: pod obsch. red. L.L. Tovazhnyanskogo; natsionalnyiy tehnicheskiy universitet «Harkovskiy politehnicheskiy institut». – Kharkov: NTU «HPI», 2004. – 232 p.

2. Teplovaya izolyatsiya [Tekst]. pod red. G.F. Kuznetsova. – M.: Stroyizdat, 1995. – 421 p.

3. Spravochnik proektirovshchika. Proektirovanie teplovyih setey [Tekst]. pod red. A.A. Nikolaeva. – M.: Stroyizdat, 1965. – 359 p.

4. Aleksahin O.O. Obchislennya vtrat teploti u mikrorayonnih teplovyh merezhah [Tekst]. O.O. Aleksahin. Komunalne gospodarstvo mist: nauk.-tehn. zb.– K. «Tehnika», 2014.– Vip. 114, p. 82–84.

5. Aleksahin O.O. Vtrati tisku u mlkrorayonnih teplovyh merezhah [Tekst]. O.O. Aleksahin, O.V. Boblovskiy. Komunalne gospodarstvo mist: nauk.-tehn. zb.– K. «Tehnika», 2014.– Vip. 114, p. 85–87.

УДК 658.264

Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П.

### **ОЦІНКА ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ МІКРОРАЙОННОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ПЕРЕХОДІ ВІД ЧОТИРЬОХТРУБНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДО ДВУХТРУБНОЇ**

На прикладі груп будівель з однаковими тепловими навантаженнями, але різними характеристиками забудови проаналізовано зміну теплових втрат трубопроводами водяної мережі теплопостачання і витрат електроенергії для транспортування води територією мікрорайону при переході від чотиритрубної схеми організації теплопостачання до двотрубної. Отримані результати можуть бути корисними при розробці стратегії реформування мікрорайонної системи теплопостачання.

Aleksakhin O.O., Yena S.V., Hordiienko O.P.

### **EVALUATION OF PARAMETERS CHANGES FOR A DISTRICT HEATING SYSTEM WHILE CONVERSING OF A FOUR-PIPE INTO A TWO-PIPE HEATING SYSTEM**

Changes of heat losses in the pipes heating system have been analyzed on the example of groups of buildings with identical thermal loads, but different characteristics of building. The costs of electricity for water transportation through the territory of the district under the conversing from a four-pipe into a two-pipe heating system have been considered. The results that were obtained during the analysis, may be useful for the working up of reform strategy of districts heat supply systems.